

整合環境－經濟多目標規劃模型之研究： 臺灣實證分析*

楊浩彥** 王塗發***

本文試圖建立一個環境－經濟整合模型，來探討環境與經濟的整合問題。我們利用多目標規劃與狀況分析法，來模擬整合規劃對產業生產、就業與資源配置的影響效果。根據1986年臺灣現況資料所做的實證結果，我們發現，在多目標的發展策略下，只要犧牲小幅度的所得與就業量，就可使能源使用與污染排放獲得大幅度的改善。同時，在多目標的發展策略下，不同職業別的勞動力需求，將因不同目標的變化而受到不同的影響。

- 一、前言
- 二、基本模型
- 三、多目標規劃
- 四、規劃模型與求解
- 五、模擬分析
- 六、結論與研究限制

一、前言

在臺灣從傳統農業經濟轉變為工業化國家的過程中，快速的經濟成長，也伴隨著環境的惡化與自然資源的耗竭。植基於傳統的社會偏好與價值觀之經濟體系，以追求成長為主要目標，及過度依賴可耗性資源的經濟成長方

* 作者感謝兩位匿名審查委員對本文初稿所提供的建議與指正，惟文中如有疏漏之處，仍應由作者自負全責。

** 國立中興大學經濟學研究所博士候選人

*** 國立中興大學經濟學研究所教授

式，已面臨亟需檢討的時刻了。

先進各國早在1950至1960年間，即已面臨相同的境況(Hafkamp, 1984)，也開始對經濟成長的本質進行廣泛的探討。羅馬俱樂部在1972年發表的報告書指出，如果世界人口、工業化、污染、資源耗竭的成長趨勢維持不變，一百年後將到達可資容許的成長極限；但若能致力於成長趨勢的改變，並維持生態環境與經濟系統的穩定性，則可確保其永續發展(Rediclift, 1987)。

雖然前述強調經濟成長過程中所帶來初級原料和能源的耗竭，以及污染的危害等相關議題的探討，但不意謂著零成長，而是摒棄奢侈性消費的成長和耗竭性的生產方法，取而代之的是以能源使用和環境污染的減少為主要目標(Dietz et al., 1991)。換言之，經濟成長的持續必須奠基在生態環境的永續而非資源的耗竭。

自世界環境暨發展委員會於1987年發表「我們共同的未來」報告書(WCED, 1987)以來，自然資源系統已愈來愈受到經濟學界的重視，從早先將環境保護附屬在傳統經濟目標(如充分就業)之下的方式，漸漸改為視自然資源為經濟活動的基礎。永續性的發展策略也逐漸被接受成為經濟政策的主要目標(Dietz et al., 1991)。因此，植基於傳統目標的經濟成長和資源規劃方法實有必要加以調整，而建立一個整合經濟體系與其它體系的模型則已有其必要性。這也是本文主要的研究動機。

整合模型的發展，從早期傳統經濟模型(traditional economic models)納入能源和環境變數的評估方法，及後來對物質平衡模型(material balance models)和投入產出模型(Input-Output models)的擴展，到晚近的整合模型(integrated models)的架構。此一趨勢，亦如事實的發展，導因於戰後經濟成長的架構，忽略發展過程中的社會和資源的角色，以及自然環境的惡化。這種情況不論是在已開發國家或第三世界都是如此(Hafkamp, 1991)。

利用整合的資源規劃方式，著重在部門之間的配置(allocation)效率性和目標之間的分配(distribution)公平性的處理。傳統上是應用順序分析(sequential analysis)：先效率後公平(如傳統福利分析)，或者，先公平後效率(

如政治經濟分析)。然而，公平和效率之可分割性(separability)假設，已不符合現今實際規劃上的需要(Despoutin et al., 1984)。因此，Nijkamp(1986)建議引入衝突分析(conflicted analysis)來解決。透過這種整合的方式對資源配置的影響，一般可由三方面來評估其效果：一、部門間，如生產部門和環境部門；二、區域間，如落後地區和先進地區；三、世代間。在規劃方法上，晚近的發展則是採用多目標規劃法(multi-objective programming)來加以處理(Nijkamp, 1986)。

由過去的文獻來看，利用多目標的整合規劃方式來探討經濟計劃(economic planning)，可追溯到Loucks(1975)的研究。Loucks指出，經濟發展的策略通常是多重目標的，涵蓋了經濟、政治、社會等層面。由於這些目標通常具有抵換(trade-off)效果，因此這方面的研究也就不同於傳統的最適化問題。在國內相關研究方面，Hsu et al.(1985, 1987)探討能源-經濟規劃問題。Tzeng et al.(1989)分析能源-環境規劃問題。Tzeng et al.(1992)應用於運輸規劃問題。張四立(1992)則針對石油供需規劃問題進行研究。與本文研究主題有關為Tzeng et al.(1989)的研究。而在應用上述之研究法來探討經濟-環境-能源規劃的國外文獻方面，則以Bannink, Broekhof and Nijkamp(1983)與Hafkamp(1984)的研究較具代表性。因此，以下將分別對Tzeng et al.(1989)、Bannink, Broekhof and Nijkamp(1983)、Hafkamp(1984)的研究加以說明。

Tzeng et al.(1989)利用分析階層程序法(Analytical Hierarchical Process, AHP)探討臺灣地區2000與2010年，所得-能源-環境規劃問題。在規劃模型的架構中主要包括了經濟體系、能源和污染等三個系統。實證結果發現，由1987至2000年之間規劃的方案中，以污染指數減少0.05(由0.6變動為0.55)，所得成長6%，能源使用成長4.8%為最佳方案。由2000至2010年之間規劃的方案中，以污染指數減少0.1(由0.6變動為0.5)，所得成長5%，能源使用成長3.8%為最佳方案。

Bannink, Broekhof and Nijkamp(1983)從理論上說明，運用規劃分析法(programming approach)來設計經濟發展策略之可行性。他們認為採用此一

分析法可以允許多重目標之政策函數的納入，同時也可以輕易的整合與政策目標有關的層面。他們提出模型設計的架構，除了多目標函數之外，另包括了產能限制、投資方程式、消費方程式、勞動力限制、污染與能源限制、外匯平衡限制式和政府收支限制式等。該文並未進行實證分析，僅是討論了一個規劃模型的藍圖。

Hafkamp(1984)利用Nijkamp and Hafkamp(1982)所共同發展的多面向福利架構(multi-dimensional welfare profiles)，來建立一個多面向目標函數，並納入一個以荷蘭體系為主的經濟-環境-能源-就業規劃模型來探討環境品質效益。在規劃模型的架構中，主要包括了經濟體系、能源和污染限制、及勞動供需等三個系統。實證結果發現：所得目標與環境品質目標之間存在抵換(trade-off)效果，數據顯示2%環境品質目標的增進將使所得目標下降1%，反之亦然。另外，就業與其它目標則無明顯的抵換效果。就業目標受環境與成長政策的影響，但就業政策對環境與所得目標則不具影響效果。

由前述文獻來看，Tzeng et al.(1989)係一專案計劃模型(projected planning model)，用以規劃未來的可行方案。Bannink, Broekhof and Nijkamp(1983)僅從理論上來探討。而Hafkamp(1984)則著重在經濟活動水準與環境品質程度之間關係的研究。上述文獻僅以Hafkamp(1984)的研究主題與本文相同。

但是經濟活動水準與環境品質程度之間的關係，屬於何種狀況應視研究的對象而定。本質上是屬於實證上的問題。如Hafkamp(1984)以荷蘭為研究對象，發現環境污染的減少較經濟活動水準減少的幅度來得大。而上述問題可應用多目標規劃法來解決。另一方面，污染限制對產業部門結構的影響，則需納入多部門結構進行分析。透過多目標和多部門的整合即為本文整合分析之基本架構。本文的目的，即在於建立一整合模型，以臺灣地區為研究對象，透過多目標分析法和投入產出分析法，來評估不同發展目標對部門間可能產生的影響。

本文的章節安排如下：第一節為前言，說明研究動機和研究目的；第二節為基本模型，說明問題和概念性模型；第三節說明多目標規劃法；第四節

建立一個可操作之實用模型，並說明多目標規劃法的應用；第五節分析實證結果；第六節為結論。

二、基本模型

1. 問題之形成

目前世界各主要國家，都已相當重視經濟發展過程中能源和環境的角色。這不僅是由於未來潛在的能源匱乏與環境污染等問題，而且是因為這些問題將會影響整體經濟的成長與結構的變化。臺灣雖從早期農業導向轉變為工業導向的經濟，並從勞力密集轉向為資本和能源密集的產業，同時成功地達成經濟成長的目標，但也面臨了能源短缺與環境污染的問題。因此，節約能源消費和減少污染已成為臺灣經濟發展過程中重要目標之一。

近年來臺灣能源消費成長率高於GDP成長率(見表一)，且現階段的產業結構又以高耗能產業為主，而能源在製程中燃燒又會造成自然資源之耗竭與環境之污染。因此，節約能源消費和減少污染的目標，也就顯得極為迫切。

表一 基本資料

年別	GDP (百萬元)	能源需求 (KLOE)	污染總量(噸)			
			懸浮微粒	硫氧化物	氮氧化物	一氧化碳
1986	2925772 (11.64)	33409 (9.56)	-	-	-	-
1987	3273073 (12.34)	36087 (8.01)	5222996 (-)	1110853 (-)	535411 (-)	2785226 (-)
1988	3529708 (7.34)	40240 (11.51)	5908348 (13.12)	1266899 (14.05)	638591 (19.27)	3105856 (11.51)
1989	3788485 (7.57)	43531 (8.18)	6339127 (7.29)	1075869 (-15.08)	736431 (15.32)	3088700 (-0.55)
1990	3978720 (4.87)	46184 (6.10)	-	-	-	-
1991	4270073 (7.33)	49807 (7.85)	-	-	-	-

說明：

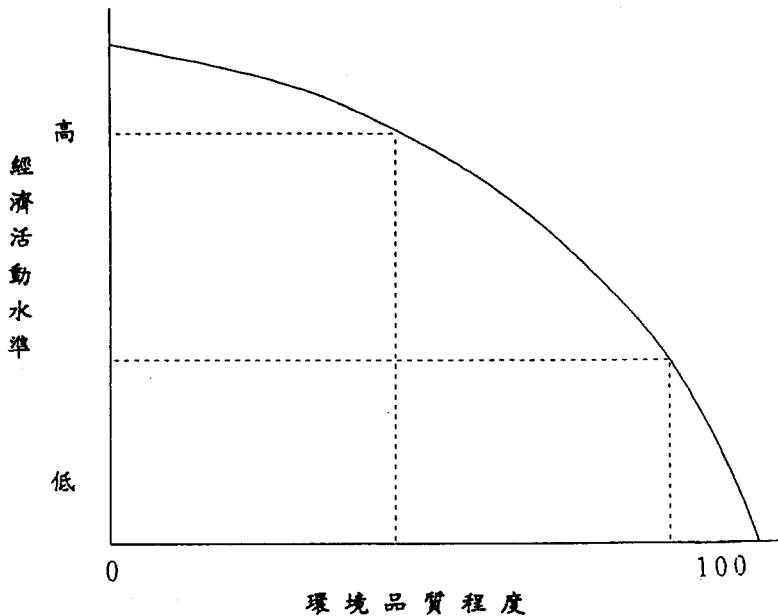
1. 污染物僅限於空氣污染。
2. KLOE為千公秉油當量。
3. GDP以1986年為基期計算。
4. 括號內之值為成長率。

資料來源：

1. 中華民國台灣地區能源指標季報(1992)，經濟部能源委員會。
2. 中華民國台灣地區環境資訊(歷年)，行政院環境保護署。
3. 中華民國台灣地區環境保護統計年報(1991)，行政院環境保護署。

從整體來看，節約能源消費和減少污染的方法，可分別由經濟因素和非經濟因素來處理，而各個因素則可分別由投入面和產出面來加以探討。譬如說，從非經濟因素的投入面和產出面來看，前者如能源節約技術，後者如污染防治技術等；而從經濟因素的投入面和產出面來看，前者如能源間之替代，後者如產業間之選擇性成長，皆是可行策略。從經濟角度分析節約能源消費和減少污染對部門間的影響，可對產業結構進行潛在重分配效果分析。而低污染、低耗能源及高附加價值產業的認定，則是調整產業結構的重要基礎。這也是本文所要探討的重要問題。另一方面，從政策的角度來看，雖然節約能源消費和減少污染很重要，但是如何以最小能源投入和污染達到既定成長目標才是最重要的課題，因為決策者終究不能忽視成長目標之達成。

從上述問題來看，傳統上將能源和環境納入迴歸分析，以及環境與能源投入產出的乘數分析，皆有其數量分析上的價值。然而，決策者在環境品質和經濟活動之間，通常會面臨互為抵換的選擇問題(如圖一)。以傳統的經濟模型配合決策分析，將可對上述問題有效地進行數量化評估。



圖一 經濟活動與環境品質的關係

2. 概念性模型

本文建立的基本模型將整合經濟、社會和環境三個層面，而以生產經濟體系予以連結。首先，在商品生產和消費上，是以傳統的所得和產出極大為目標；其次，在商品的生產和消費所投入的大量資源，與所造成的環境污染，則構成環境層面；最後，商品生產和消費的社會層面則是表現在就業上 (Hafkamp, 1984)。各個層面則代表整合系統的一個子系統。在此所謂的整合，包括個人與個人及個人與經濟、社會、環境的關係，而個體間的整合 (如環保聯盟、工會等) 及其目標，也就成為公共政策和規劃上的重要基礎。

根據前述說明，首先，定義社會成員組成集合 (\bar{I})：

$$(1) \quad \bar{I} = (1, 2, \dots, I)$$

個人對經濟、社會和環境的目標，分別反映在所得水準 (Y)、就業量 (L)、能源投入量 (E) 和污染量 (P)。因此，社會狀態可以 s 表示為：

$$(2) \quad s = (Y, L, E, P),$$

$$(3) \quad s \in S$$

式中 S 為一緻密 (compact) 和凸型 (convex) 的可行集合 (feasible set)。第 (2) 和 (3) 式表示社會體系可達到的狀態，在 S 集合下，政府可運用政策達成社會狀態之目標。

其次，在社會體系下的個人，皆面臨一組狀態的集合 (Z)：

$$(4) \quad Z = \{z \mid z = (Y, L, E, P) \in R_+^4\}$$

假設個人福利函數為：

$$(5) \quad w_i(z), \quad i \in \bar{I}$$

係二次可微分的凸型(convex)函數。若為了改變原先的狀態，在所有的目標無法同時改善的前提下，定義選擇集合(C)為：

$$(6) \quad C = \left\{ c \in R^4 \mid c_j = (c_1, c_2, c_3, c_4), \sum_{j=1}^4 c_j \in [0, 1] \right\}$$

式中 c_j 表示個人選擇。因此，完整的個人社會狀態集合(SS)可以表示為：

$$(7) \quad SS = \{\bar{I}, S, (Z, w_i, C)\}$$

從社會的觀點，不同羣體間的目標，在整合過程中，因無法同時獲得滿足，故在決策上，也就無法確認單一的全域性極值。因此，決策者必須在各目標間尋求一妥協解。其次，在決策過程中，對於那個目標應優先改善，則需設定決策法則。在分析上，可設定各種狀況來進行狀況分析(scenario analysis)；在實務上，則可由投票程序(如多數決)來決定。

簡言之，上述流程可簡化為下列幾個步驟。首先建立決策空間(decision space)，即 S ，和目標空間(objective space)，即 s ，以形成一個多目標規劃問題。其次，使用多目標規劃法尋找妥協解，產生社會可接受的狀態。最後，決策者對妥協解是否滿意作出決定，並在選擇集合(C)中認定應優先改善之目標，然後重新求解。反覆上述決策過程，所得到的解，即可用來分析目標間優先順序變化對資源配置可能產生的影響。

三、多目標規劃

1. 多目標規劃法

多目標問題的研究，自1950年代漸受重視，到了1970年代則有顯著的發展(Zeleny, 1982)。基本上，多目標規劃問題係由單一目標函數擴大到多重目標函數，且各個目標之間無法同時滿足最適水準而產生。正由於多目標問題通常無法同時滿足各個目標的最適水準，故對多目標問題的解決，乃有各種不同的理論和方法。

一般而言，多目標規劃法可由決策過程的訊息傳遞來加以區分。在決策過程中，決策者和分析者之間，訊息的傳遞方式將影響規劃方法的形成。根據文獻發展(Cohon, 1978; Zeleny, 1982; Hafkamp, 1984)，可區分如下：(1)移動法(generating techniques)：強調訊息傳遞是由分析者傳至決策者，故又稱之為由下而上法(bottom-up)；(2)偏好介入法(preference-oriented methods)：這一類的方法強調訊息傳遞是由決策者傳至分析者，故又稱之為由上而下法(top-down)；(3)互動法(interactive methods)：訊息的傳遞包括上述兩種。此三種方法簡述如下。¹

(1)移動法：應用移動法強調訊息傳遞是由分析者傳至決策者。因此，基本上，多目標規劃是由分析者產生一組可供選擇的替代方案，提供予決策者選擇，決策者的偏好並無明顯介入，故屬於無偏好法的範疇。參數法、受限制法、非劣解法(NISE)和妥協法等皆屬之。

(2)偏好介入法：強調訊息傳遞是由決策者傳至分析者，故決策者的偏好介入多目標問題。但因介入時機又可區分為事前偏好介入和事後偏好介入。前者假設與決策偏好有關的訊息，可以在解決問題之前得到；後者則假設在解決問題之前，並未執行任何偏好介入，而在決策完成後才揭露出來。隨機優勢法、妥協法皆屬之。

(3)互動法：互動法假設決策者的偏好與所要探討的問題有關，訊息傳遞涵蓋上述兩種，因此又稱之為過程偏好介入法。

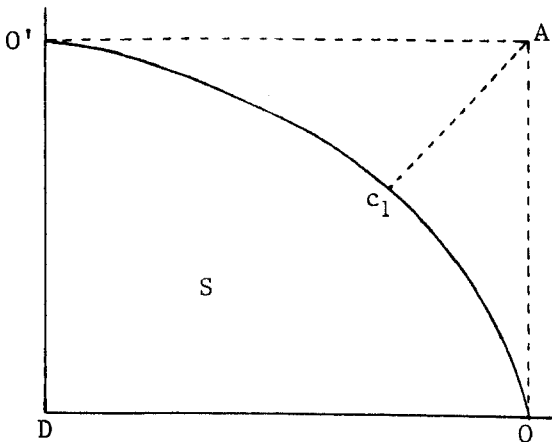
本文採用多目標方法，係因模型包括了經濟(生產)、社會(就業)和環

境(能源與污染)三個互相關聯的系統，而任何一因素變動都可能產生整體的效果，並影響各個目標值。而且多目標規劃亦可用來處理不同單位間及目標間的抵換(trade-off)效果。本文擬應用互動妥協規劃法，來分析不同目標之改善對部門間的影響效果。

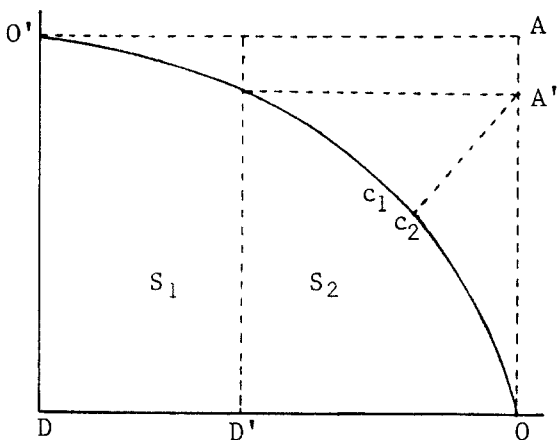
2. 互動妥協規劃(interactive compromise programming)

由於多目標問題無法同時取得各個目標最適的水準，故引入非劣勢解(non-dominated solution)集合的概念，惟所求的非劣勢解的個數仍多(特別是3個目標以上)。妥協規劃基本上是放棄理想解的追求，而設法由非劣勢解集合中尋找一個較接近理想解的妥協解。妥協意謂一種尋找可能接近理想解的過程(Zeleny, 1982)。

為了尋找接近理想點的解，必須設定理想的參考點，再由非劣勢解的集合中對應出與理想點距離最短的解(以圖二說明之)。圖二是二度空間，經濟活動水準與環境品質程度的關係。首先設A為理想的參考點，若 c_1 為眾多非劣勢解集合中對應參考點最短距離的解，則 c_1 為妥協解。妥協規劃在解決問題前並未有任何偏好介入，而是由對應參考點的方法來顯示偏好特性。²



圖二



圖三

假設社會期望改變，反應至決策者(以圖三說明)。若環境品質程度被列為優先改善的執行目標，此時環境品質程度被限制在 D' 下，則 S_1 被排除在

決策空間之外，新的參考點重新設定在 A' ， c_2 即成為新的妥協解。因此，透過這種互動調整的規劃方式，分析者僅需極少訊息，即何目標應優先改善，就可完成。本文將納入各種狀況(scenarios)進行模擬分析。

四、規劃模型與求解

1. 操作性模型

我們可依前述基本模型來建立一可操作模型。此一模型也同樣是建立在經濟(生產)、社會(就業)和環境(能源與污染)三個層面上。根據上述，吾人可將規劃模型問題定義為：

$$(2') \quad \max s = (yx, lx, -ex, -px),$$

$$(3') \quad \text{s.t. } s \in S$$

式中 x 為生產產值向量， y 為單位生產附加價值向量， l 為單位生產勞力需求向量， e 為單位生產能源投入向量， p 為單位生產污染排放向量。式(2') 構成目標空間(objective space)，式(3') 則為決策空間(decision space)。

決策空間係由生產、就業、能源和環境四個子系統所構成。生產子系統以產業關聯關係式表示，就業和能源子系統以供需體系表示，環境子系統則以總量限制式表示，詳述如下。

產業關聯關係式表示為：

$$(8) \quad (I - A + \hat{M})x \geq F_{min}$$

式中 A 為投入係數矩陣， \hat{M} 為進口係數對角化矩陣， I 為單位矩陣， F_{min} 為最低最終需求(不含進口)向量。此式表示為了滿足國內中間需求和最終需求，除了可由各產業生產供給外，尚可由進口供給。此一處理方式

視進口財為競爭進口品，進口與國內生產維持固定比例(Chenery and Clark, 1959)。

就業和能源供需限制式，分別表示為：

$$(9) \quad l_d x \leq \bar{L}_s$$

$$(10) \quad e_d^i x + E_d^f \leq \bar{E}_s$$

(9)式中 \bar{L}_s 為固定勞動供給向量， l_d 為勞動需求係數矩陣；(10)式中 \bar{E}_s 為固定能源供給向量， e_d^i 為能源中間需求係數矩陣， E_d^f 為能源最終需求向量。

污染限制式表示為：

$$(11) \quad \hat{p}x \leq \bar{P}$$

式中 \hat{p} 為污染排放係數矩陣， \bar{P} 為污染總量限制向量。此式對目前以污染源排放濃度為立法依據的我國，意義不大。但是論及環境保護，污染物質之排放總量在區域內有一定的自然淨化力，謂之環境涵容量。假若污染超過環境涵容量，必造成環境保護上的困難，因此，先進各國在環境保護方面，都已對環境總量加以限制。而臺灣未來如欲在環境保護方面達成預定成效，則亦有必要對污染排放總量加以管制，故在模型中加入此一限制式。

最後，設定產能限制式如下：

$$(12) \quad x \leq \bar{K}x^c$$

式中 \bar{K} 為產能最大擴充率， x^c 為當年度實際產值。此式表示產值在多目標規劃的重新分配下，受限制於產能，而不能超過原實際產值的某一比例。

第(8)~(12)式構成第(3')式的決策空間。再結合第(2')式，即構成一個可操作的多目標規劃模型。

2. 多目標妥協規劃—理想點法

建立上述可操作的多目標規劃模型之後，尚需配合一些求解過程，才算完成完整的多目標規劃工作。多目標規劃的重要求解方法至少包括了移動法、偏好介入法和互動法。本文係採用互動妥協規劃的理想點法來進行分析。

理想點法為Yu(1973)所創，而由Nijkamp(1980)加以拓展和應用。它的基本原理，是由可行集合(feasible set)中，尋找與理想點之間最近距離的一點，代表妥協解。所謂的理想點，是各個單獨目標的最適解。因此，距離最近的解，即表示在無法同時滿足各目標的情況下，最接近最適解的可行解。

此規劃模型的求解，主要採用下列兩步驟(Hafkamp, 1984; Schachter et al., 1989)：

第一：最適化個別目標，並建立償付矩陣(pay-off matrix)。所謂的償付矩陣，係用以表示各個目標間相互的抵換(trade-off)關係。首先，將各個目標獨立處理，然後逐次最適化各個目標，亦即，

$$\begin{aligned}
 & \max \quad yx, \\
 & \max \quad lx, \\
 & \min \quad ex, \\
 & \min \quad px, \\
 & \text{s.t. } s \in S
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

然後將上述求出之結果列於償付矩陣。該矩陣的對角線上之值代表各個目標的理想解；矩陣中非對角線部份為非最適化結果，表示與最適目標的距離以及各個目標間的抵換關係。

第二：由償付矩陣建立各目標的距離函數(distance function)，並極小化距離函數，以求得各目標間的妥協解。在這裡的距離函數，為可行集合與最適解之間距離的總和。此步驟因各目標間的維度並不相同，故需經過標準化過程。我們採用Hafkamp and Nijkamp(1982)提出的標準化距離的方法，其極大化和極小化的標準化距離公式分別表示為：

$$(14) \quad W_k^{max} = \frac{O_k^{max} - O_k}{O_k^{max} - O_k^{min}}$$

$$(15) \quad W_k^{min} = \frac{O_k - O_k^{min}}{O_k^{max} - O_k^{min}}$$

式中 O_k 為第 k 個目標的解值， O_k^{max} 為第 k 個目標的最大值， O_k^{min} 為第 k 個目標的最小值。因此，可行集合內距離理想點最近的解值，在目標為極大化時，隱含 O_k 應向 O_k^{max} 趨近，即標準化距離值(W_k^{max})愈小愈好；而當個別目標的解值達最大時， $W_k^{max} = 0$ 。同理，在目標為極小化時，隱含 O_k 應向 O_k^{min} 趨近，即標準化距離值(W_k^{min})愈小愈好；而當個別目標的解值達最小時， $W_k^{min} = 0$ 。

由上述標準化公式，本文採用歐几里德距離函數(Euclidean distance function)，加總各個目標的標準化距離為衡量指標，表示為：³

$$(16) \quad d(s, (s^{max}, s^{min})) = \left\{ \sum_{k=1}^4 (W_k^i)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad i \in \{max, min\}$$

式中當 k 目標為極大值時， i 為max(即 W_k^{max})；當 k 目標為極小值時， i 為min(即 W_k^{min})。因此，各目標間的妥協解為極小化距離函數，即：

$$(17) \quad \min d(s, (s^{max}, s^{min}))$$

3. 狀況分析(Scenarios analysis)

由前兩步驟所求算的解，代表各目標間的妥協結果，為一有效解，而非最適解。其所蘊含的訊息並不代表最後結果，而是提供決策者制定決策的重要參考。如前述說明，決策之制定是透過選擇集合的考量。方法上，乃是選擇應優先改善的目標，併入多目標規劃過程，再重新求解。在這裡，我們分別對四個目標逐次調整，進行模擬分析。

首先，調高所得目標值(狀況A)；亦即決策者有著既定的最低所得成長目標，而以最大就業量、最小的能源消費和污染排放量來達成。我們採用 Hafkamp(1984)的限制集合的調整方法，表示為：

$$(18) \quad O_{y(new)}^{min} = O_y^{min} + \lambda_y(O_y^{com} - O_y^{min})$$

式中 $O_{y(new)}^{min}$ 為新的所得成長目標值的下限； O_y^{com} 為妥協解； λ_y 為調整速度，界於0和1之間。此式表示新的所得成長目標值的下限，為原先所得成長目標值下限值加上其與妥協解之差額的某一個比例。

其次，就業目標值的調整(狀況B)可表示為：

$$(19) \quad O_{l(new)}^{min} = O_l^{min} + \lambda_l(O_l^{com} - O_l^{min})$$

式中 $O_{l(new)}^{min}$ 為新的就業目標值的下限； O_l^{com} 為妥協解； λ_l 為調整速度，界於0和1之間。同理，可調降能源消費或污染排放量的目標值；亦即降低既定能源消費或污染排放量目標，以達成最大所得成長和就業量的目標值。

至於能源消費量(狀況C)和污染排放量(狀況D)的調整，也是由限制集合來調整，所不同的是調整上限值，即：

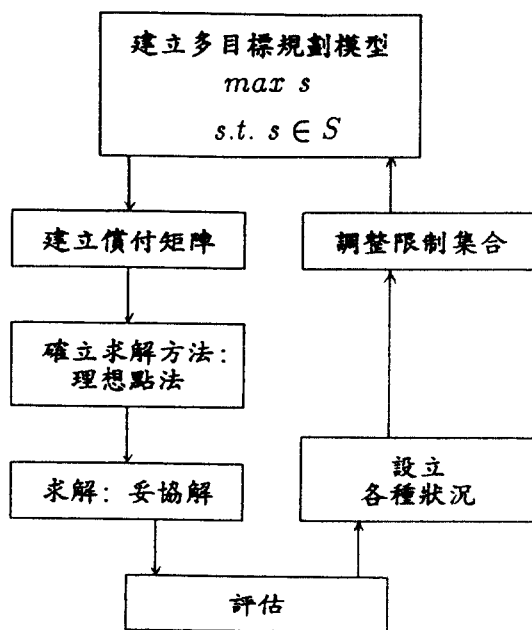
$$(20) \quad O_{e(new)}^{max} = O_e^{max} - \lambda_e(O_e^{max} - O_e^{com})$$

$$(21) \quad O_{p(new)}^{max} = O_p^{max} - \lambda_p(O_p^{max} - O_p^{com})$$

式中 $O_{e(new)}^{max}$ 和 $O_{p(new)}^{max}$ 分別為新的能源消費量和污染排放量目標值的上限； O_e^{com} 和 O_p^{com} 為能源消費量和污染排放量的妥協解； λ_e 和 λ_p 為調整速度，界於 0 和 1 之間。至於 λ_e 、 λ_l 、 λ_e 和 λ_p 之調整速度值的給定，則視模擬的目的而定，主要差異在於調整幅度之大小。

4. 小結

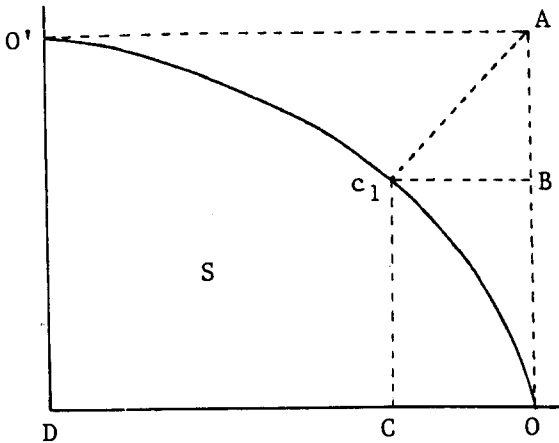
綜合前述說明，可用圖四表示整個分析的流程。最後，我們進一步使用幾何圖形來對理想點法，做一簡單的說明。



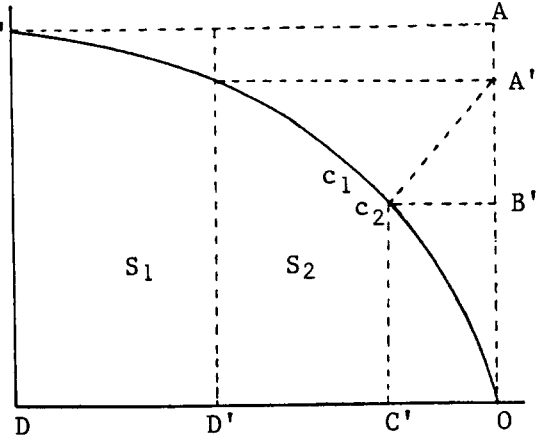
圖四 分析流程與求解步驟

在先前的圖二中，我們主要由 OO' 之間，尋找最接近理想點 A 的妥協解。若由圖五來看，則是求 AB 和 OC 線段越短越好。然而 AB 愈短，則 OC

愈長，目標間無法同時滿足。本文處理的方法為求取 AB 相對於 AO 和 OC 相對於 OD 兩者之間的歐几里德距離最小。另外，在狀況分析中，當 S 集合被限制時(如圖六)，假設為污染被限制，則新的妥協解即在求取 $A'B'$ 相對於 $A'O$ 和 OC' 相對於 OD' 兩者之間的歐几里德距離最小。



圖五



圖六

五、模擬分析

1. 基本解

本文所需的資料皆取自相關文獻與統計報告的次級資料，各筆資料來源和處理方法彙總於表二和表三。⁴由於各變數之單位皆不相同，為了分析方便起見，本文將所有變數的數值皆以指數形式表示，亦即將模擬所得的數值除以實際值再乘上100。此種處理方式亦可同時比較出各數值以百分比表示之變動幅度的大小。

首先，最適化個別目標，建立償付矩陣於表四。該表中對角線數值代表單獨目標最適值，非對角線的數值與對角線的數值之差表示各目標間的抵換關係。在基本解(即 $\lambda = 0$ 時)，以極大化所得和極小化能源消費兩個目標來看，當目標由極大化所得轉變為極小化能源消費，所得下降19.732百分點(由100.336降為80.604)，而能源消費則下降18.015百分點(由96.047降為78.032)。

表二 產業分類

部門別	投入產出表	能源平衡表	勞動投入表
1. 農林畜產	1-7,9	65	1,2
2. 漁產	10	66	3
3. 煤礦業	11	17	4
4. 石油和天然氣	12	19	5
5. 其它礦業	13-15	29	6,7
6. 食品飲料和煙草	16-28	30	8,9
7. 紡織業	29-31	31	10
8. 成衣和服飾	32-37	56	11,12
9. 木材與木製品	38-41	33	13
10. 造紙和印刷	42-44	34,55	14
11. 化工原料	45,46,51	37,38	15
12. 化學製品	47-49,52,53	39,40,42,44	16
13. 石油和煤製品	54,55	7-9,18,20	17
14. 橡膠業	56	57	18
15. 塑膠業	50,57	41,43	19
16. 其他非金屬礦物製品	58-62	42,46	20
17. 基本金屬	63-66	51,52	21
18. 金屬製品	67-69	58	22
19. 機械業	70-73	59	23
20. 電機業	74-76	60	24
21. 運輸工具	77-79	61	25
22. 雜項製品	80,81	63	26-27
23. 電力	82	10,21	28*
24. 煤氣與自來水	83,84	22,70	28*,29
25. 營造工程	85-88	71	30
26. 商品買賣	89-91	68	31
27. 運輸業	94-98	24-27	33
28. 倉儲業	99-100	72-74	34,35
29. 其它服務	8,92,93,101-123	75-77	32,36-38

說明：

1. 投入產出表的產業代號按投入產出表(1986)。
 2. 勞動投入表的產業代號按陳家榮(1989)。
 3. 能源投入表的產業代號按能源平衡表(1991)。
- * 依產值分攤。

資料來源：

1. 投入產出表(1986)(123部門)，主計處。
2. 台灣地區職業別薪資調查報告，主計處。
3. 勞工統計月報，主計處。
4. 能源平衡表(1991)，經濟部能源委員會。

表三 資料來源

變數	維度	說明	資料來源
y	1*29	單位產出附加價值(百萬元/百萬元)	投入產出表(1986)
A	29*29	投入產出技術係數矩陣	同上
\hat{M}	29*29	進口係數對角化矩陣	同上
F_{min}	1*29	最低最終需求向量；處理同張鴻章等人(1981)	同上
l	1*29	單位產出勞動投入係數(人/百萬元)	陳家榮(1990)
l_d	6*29	職業別單位產出勞動投入係數(人/百萬元)分為專門技術、行政主管、監督行政、買賣工作、服務工作、農林與生產人員六類	同上
\bar{L}_s	6*1	職業別勞動供給(人)	經建會(1986)
e	1*29	單位產出能源消費投入係數(油當量/百萬元)	能源平衡表(1991)
e_d^i	6*29	能源別單位產出能源消費投入係數(油當量/百萬元)，分為煤、天然氣、電力、車用汽油、柴油、燃料油六類	能源平衡表(1991)
E_d^f	6*1	能源別能源最終需求	能源平衡表(1991)
\bar{E}_s	6*1	能源別能源供給	經濟部(1988)
\hat{p}	4*29	污染排放係數(噸/百萬元)，分為懸浮微粒、硫氧化物、氮氧化物、一氧化碳四類，根據各種能源投入排放係數計算而得	張四立(1992)
\bar{P}	4*1	固定污染源燃料燃燒總量	環保署(1987)
K	1*1	產能限制，設定為1.1	O'Conner & Henry(1975)

說明：以75年資料，進行實證模擬。

其次，由償付矩陣建立距離函數，並由距離函數的衡量求取目標間之妥協解，估計結果列於表五和表六的基本解。在表五基本解的目標值，能源使用量(88.115)和污染排放量(87.794)的減少幅度(即由實際值100降為88.115和87.794)較所得(96.064)和就業(98.087)的減少幅度(即由實際值100降為96.064和98.087)大，顯示在兼顧各個目標的策略下，犧牲小幅度的所得和就業量，可使能源使用和污染排放有較大幅度的改善。此結果與Hafkamp(1984)的結果類似，但污染排放的改善相對所得減少的幅度(12.206/3.936)較Hafkamp(1984)的研究結果(2/1)來得大。

表四 償付矩陣

(單位:百分比)

Scenario A					Scenario B				
$\lambda = 0$									
目標	所得極大	就業極大	能源極小	污染極小	目標	所得極大	就業極大	能源極小	污染極小
所得	100.336	100.182	80.604	80.604	所得	100.336	100.182	80.604	80.604
就業	101.119	101.377	80.262	80.262	就業	101.119	101.377	80.262	80.262
能源	96.047	96.023	78.032	78.032	能源	96.047	96.023	78.032	78.032
污染	94.358	94.338	77.565	77.565	污染	94.358	94.338	77.565	77.565
$\lambda = 0.25$									
目標	所得極大	就業極大	能源極小	污染極小	目標	所得極大	就業極大	能源極小	污染極小
所得	100.336	100.182	84.469	84.469	所得	100.336	100.182	82.248	82.248
就業	101.119	101.377	86.987	86.987	就業	101.119	101.377	84.718	84.718
能源	96.047	96.023	79.377	79.377	能源	96.047	96.023	78.590	78.590
污染	94.358	94.338	78.855	78.855	污染	94.358	94.338	78.150	78.150
$\lambda = 0.5$									
目標	所得極大	就業極大	能源極小	污染極小	目標	所得極大	就業極大	能源極小	污染極小
所得	100.336	100.182	88.334	88.334	所得	100.336	100.182	86.288	86.288
就業	101.119	101.377	90.676	90.676	就業	101.119	101.377	89.174	89.174
能源	96.047	96.023	80.827	80.827	能源	96.047	96.023	80.053	80.053
污染	94.358	94.338	80.191	80.191	污染	94.358	94.338	79.449	79.449
$\lambda = 0.75$									
目標	所得極大	就業極大	能源極小	污染極小	目標	所得極大	就業極大	能源極小	污染極小
所得	100.336	100.182	92.199	92.199	所得	100.336	100.182	91.571	91.571
就業	101.119	101.377	93.740	93.740	就業	101.119	101.377	93.631	93.631
能源	96.047	96.023	83.087	83.087	能源	96.047	96.023	82.537	82.537
污染	94.358	94.338	82.521	82.521	污染	94.358	94.338	81.904	81.904

在表五基本解的生產部門，運輸倉儲業與製造業的產值受影響最大，其次是水電燃氣業與礦業，而農業、營造業、商品買賣業與服務業的產值則反而較實際值大。若由表六的29個產業來看，農業、礦業與製造業內的各產業

表四 償付矩陣(續) (單位:百分比)

Scenario C					Scenario D				
$\lambda = 0$									
目標	所得極大	就業極大	能源極小	污染極小	目標	所得極大	就業極大	能源極小	污染極小
所得	100.336	100.182	80.604	80.604	所得	100.336	100.182	80.604	80.604
就業	101.119	101.377	80.262	80.262	就業	101.119	101.377	80.262	80.262
能源	96.047	96.023	78.032	78.032	能源	96.047	96.023	78.032	78.032
污染	94.358	94.338	77.565	77.565	污染	94.358	94.338	77.565	77.565
$\lambda = 0.25$									
目標	所得極大	就業極大	能源極小	污染極小	目標	所得極大	就業極大	能源極小	污染極小
所得	100.115	99.982	80.604	80.604	所得	99.984	99.786	80.604	80.604
就業	101.028	101.302	80.262	80.262	就業	101.099	101.247	80.262	80.262
能源	94.064	94.064	78.032	78.032	能源	93.727	93.284	78.032	78.032
污染	93.390	93.289	77.565	77.565	污染	92.717	92.717	77.565	77.565
$\lambda = 0.5$									
目標	所得極大	就業極大	能源極小	污染極小	目標	所得極大	就業極大	能源極小	污染極小
所得	99.417	98.583	80.604	80.604	所得	99.410	98.644	80.604	80.604
就業	100.695	100.987	80.262	80.262	就業	100.412	100.932	80.262	80.262
能源	92.081	92.081	78.032	78.032	能源	92.271	92.081	78.032	78.032
污染	91.313	91.380	77.565	77.565	污染	91.076	91.076	77.565	77.565
$\lambda = 0.75$									
目標	所得極大	就業極大	能源極小	污染極小	目標	所得極大	就業極大	能源極小	污染極小
所得	98.394	97.353	80.604	80.604	所得	98.397	97.600	80.604	80.604
就業	99.401	100.144	80.262	80.262	就業	99.418	100.157	80.262	80.262
能源	90.098	90.098	78.032	78.032	能源	90.762	90.497	78.032	78.032
污染	89.616	89.835	77.565	77.565	污染	89.435	89.435	77.565	77.565

產值呈不同程度的變動幅度；而所有的產業中，則以紡織業、金屬製品業與塑膠業之產值的減少幅度為最大。此一結果主要是受產業別能源消費和污染排放的差異及產業關聯程度的影響所致。

表五 多目標妥協解

(單位:百分比)

λ	基本解	Scenario A			Scenario B		
		0.25	0.5	0.75	0.25	0.5	0.75
目標值							
所得	96.064	96.064	96.070	96.328	96.064	96.197	96.322
就業	98.087	98.087	97.139	98.479	98.087	97.725	98.480
能源	88.115	88.115	89.015	88.356	88.115	89.015	88.349
污染	87.794	87.794	88.785	87.926	87.794	88.788	87.917
生產部門							
農業	104.186	104.186	102.240	104.218	104.186	105.258	104.218
礦業	92.259	92.259	92.204	92.375	92.259	92.816	93.045
製造業	88.028	88.028	90.236	88.470	88.028	90.138	88.436
水電燃氣	90.844	90.844	91.448	90.957	90.844	91.467	90.956
營造業	100.306	100.306	100.267	100.314	100.306	100.269	100.314
商品買賣	107.799	107.799	100.807	107.911	107.799	100.867	107.917
運輸倉儲	86.148	86.148	85.955	86.413	86.148	85.972	86.409
服務業	103.705	103.705	103.638	103.700	103.705	103.636	103.702
就業部門							
專門技術	101.650	101.650	101.241	101.657	101.650	101.240	101.657
行政主管	93.053	93.053	93.053	93.053	93.053	93.053	93.053
監督行政	96.662	96.662	96.367	97.242	96.662	96.368	97.234
買賣工作	105.745	105.745	99.763	105.745	105.745	99.812	105.745
服務工作	102.312	102.312	102.312	102.312	102.312	102.312	102.312
農林與生產	95.686	95.686	95.551	96.232	95.686	96.569	96.235
能源部門							
煤	89.472	89.472	90.173	90.126	89.472	90.174	90.126
天然氣	93.023	93.023	91.193	94.324	93.023	91.201	94.321
電力	89.219	89.219	89.956	89.143	89.219	89.970	89.141
車用汽油	84.934	84.934	85.086	85.198	84.934	85.104	85.193
柴油	86.502	86.502	87.598	86.740	86.502	87.596	86.736
燃料油	87.019	87.019	88.716	86.829	87.019	88.699	86.810
環境部門							
懸浮微粒	88.090	88.090	88.890	88.271	88.090	88.899	88.265
硫氧化物	87.752	87.752	88.762	87.886	87.752	88.764	87.877
氮氧化物	87.833	87.833	88.828	87.943	87.833	88.831	87.935
一氧化碳	87.405	87.405	88.591	87.501	87.405	88.588	87.491

說明：當我們將限制集合調整後，在某些狀況下(例如狀況 A ($\lambda = 0.25$)與狀況 B ($\lambda = 0.25$))所得到的新解值與基本解值相同，產生所謂的極點跳躍的現象(Zeleny, 1982)。在這種情況下，得到的新解值也就無法提供決策上的參考。

表五 多目標妥協解(續) (單位:百分比)

λ	Scenario C			Scenario D		
	0.25	0.5	0.75	0.25	0.5	0.75
目標值						
所得	95.711	94.868	93.591	95.363	94.733	93.792
就業	97.705	96.792	95.409	97.328	96.646	95.627
能源	87.995	87.707	87.271	87.876	87.661	87.339
污染	87.692	87.449	87.081	87.592	87.410	87.139
生產部門						
農業	104.186	104.187	104.188	104.186	104.187	104.187
礦業	92.215	92.109	91.949	92.171	92.092	91.975
製造業	88.014	87.981	87.930	88.000	87.976	87.938
水電燃氣	90.723	90.433	89.995	90.603	90.387	90.064
營造業	100.290	100.251	100.193	100.274	100.245	100.202
商品買賣	105.143	98.799	89.193	102.524	97.787	90.705
運輸倉儲	85.921	85.378	84.556	85.697	85.291	84.685
服務業	103.746	103.844	103.992	103.786	103.860	103.969
就業部門						
專門技術	101.628	101.575	101.495	101.606	101.567	101.508
行政主管	93.053	93.053	93.053	93.053	93.053	93.053
監督行政	96.348	95.600	94.466	96.039	95.480	94.645
買賣工作	103.422	97.871	89.467	101.131	96.986	90.789
服務工作	102.312	102.312	102.312	102.312	102.312	102.312
農林與生產	95.643	95.540	95.384	95.600	95.523	95.409
能源部門						
煤	89.399	89.223	88.958	89.326	89.195	88.999
天然氣	92.306	90.591	87.995	91.598	90.318	88.404
電力	89.014	88.523	87.780	88.811	88.445	87.897
車用汽油	84.812	84.520	84.078	84.692	84.474	84.148
柴油	86.412	86.196	85.869	86.323	86.161	85.920
燃料油	86.930	86.718	86.397	86.843	86.685	86.448
環境部門						
懸浮微粒	87.984	87.730	87.346	87.879	87.690	87.407
硫氧化物	87.651	87.409	87.043	87.551	87.370	87.100
氮氧化物	87.731	87.487	87.117	87.630	87.448	87.175
一氧化碳	87.308	87.077	86.728	87.213	87.040	86.783

表六 多目標妥協解:生產部門

(單位:百分比)

λ	基本解	Scenario A			Scenario B		
		0.25	0.5	0.75	0.25	0.5	0.75
1. 農林畜產	110.000	110.000	105.982	110.000	110.000	110.000	110.000
2. 漁產	86.201	86.201	90.668	86.333	86.201	90.591	86.332
3. 煤礦業	110.000	110.000	104.531	104.083	110.000	110.000	110.000
4. 石油和天然氣	86.533	86.533	86.984	86.760	86.533	86.999	86.751
5. 其它礦業	91.026	91.026	91.723	92.116	91.026	91.703	92.114
6. 食品飲料和煙草	79.955	79.955	97.376	79.642	79.955	97.026	79.635
7. 紡織業	78.105	78.105	79.828	72.273	78.105	79.777	72.158
8. 成衣和服飾	92.108	92.108	94.733	77.232	92.108	94.628	76.997
9. 木材與木製品	83.422	83.422	83.602	84.268	83.422	83.602	84.276
10. 造紙和印刷	92.150	92.150	92.220	93.094	92.150	92.207	93.083
11. 化工原料	81.901	81.901	82.605	82.466	81.901	82.644	82.443
12. 化學製品	86.447	86.447	87.466	84.477	86.447	87.646	84.427
13. 石油和煤製品	87.690	87.690	88.205	87.884	87.690	88.221	87.874
14. 橡膠業	81.657	81.657	82.995	82.045	81.657	82.894	82.029
15. 塑膠業	79.466	79.466	79.627	81.799	79.466	79.622	81.788
16. 其他非金屬製品	84.664	84.664	84.444	85.586	84.664	84.428	85.587
17. 基本金屬	92.410	92.410	93.678	94.351	92.410	93.615	94.350
18. 金屬製品	78.521	78.521	86.855	79.665	78.521	87.143	79.666
19. 機械業	89.905	89.905	89.815	90.103	89.905	89.798	90.104
20. 電機業	110.000	110.000	96.550	110.000	110.000	96.446	110.000
21. 運輸工具	84.641	84.641	95.951	84.722	84.641	94.935	84.721
22. 雜項製品	80.121	80.121	90.110	110.000	80.121	90.184	110.000
23. 電力	90.491	90.491	91.239	90.594	90.491	91.258	90.592
24. 煤氣與自來水	92.594	92.594	92.485	92.758	92.594	92.507	92.758
25. 營造工程	100.306	100.306	100.267	100.314	100.306	100.269	100.314
26. 商品買賣	107.799	107.799	100.807	107.911	107.799	100.867	107.917
27. 運輸業	83.583	83.583	83.716	83.867	83.583	83.737	83.862
28. 倉儲業	95.656	95.656	94.254	95.851	95.656	94.260	95.847
29. 其它服務	103.705	103.705	103.638	103.700	103.705	103.636	103.702

表六 多目標妥協解：生產部門(續) (單位：百分比)

λ	Scenario C			Scenario D		
	0.25	0.5	0.75	0.25	0.5	0.75
1. 農林畜產	110.000	110.000	110.000	110.000	110.000	110.000
2. 漁產	86.202	86.204	86.208	86.203	86.205	86.208
3. 煤礦業	110.000	110.000	110.000	110.000	110.000	110.000
4. 石油和天然氣	86.356	85.934	85.295	86.182	85.867	85.395
5. 其它礦業	91.014	90.987	90.945	91.003	90.982	90.952
6. 食品飲料和煙草	79.958	79.964	79.974	79.960	79.965	79.973
7. 紡織業	78.150	78.257	78.419	78.194	78.274	78.394
8. 成衣和服飾	92.212	92.460	92.835	92.314	92.499	92.776
9. 木材與木製品	83.390	83.312	83.195	83.358	83.300	83.213
10. 造紙和印刷	91.961	91.511	90.830	91.775	91.439	90.937
11. 化工原料	81.874	81.809	81.711	81.847	81.799	81.726
12. 化學製品	86.461	86.496	86.550	86.476	86.502	86.541
13. 石油和煤製品	87.498	87.040	86.345	87.309	86.966	86.455
14. 橡膠業	81.644	81.613	81.565	81.631	81.608	81.573
15. 塑膠業	79.411	79.279	79.079	79.356	79.258	79.110
16. 其他非金屬製品	84.655	84.634	84.603	84.647	84.631	84.608
17. 基本金屬	92.400	92.375	92.338	92.390	92.371	92.344
18. 金屬製品	78.512	78.491	78.459	78.503	78.488	78.464
19. 機械業	89.892	89.861	89.813	89.879	89.856	89.821
20. 電機業	110.000	110.000	110.000	110.000	110.000	110.000
21. 運輸工具	84.621	84.574	84.503	84.602	84.567	84.514
22. 雜項製品	80.104	80.063	80.002	80.087	80.057	80.011
23. 電力	90.367	90.069	89.618	90.244	90.022	89.689
24. 煤氣與自來水	92.489	92.239	91.860	92.386	92.199	91.920
25. 營造工程	100.290	100.251	100.193	100.274	100.245	100.202
26. 商品買賣	105.143	98.799	89.193	102.524	97.787	90.705
27. 運輸業	83.462	83.175	82.739	83.344	83.129	82.807
28. 倉儲業	95.033	93.545	91.291	94.418	93.307	91.646
29. 其它服務	103.746	103.844	103.992	103.786	103.860	103.969

爲了方便分析這些差異的特性，我們將29個產業合併爲8大產業來說明。首先由能源投入係數(見表七)和比例(見表八)與污染排放係數(見表九)和比例(見表十)來分析。在能源投入方面，以比例值來看，運輸倉儲業在車用汽油與柴油，水電燃氣業在煤，以及製造業在天然氣、電力與燃料油之使用，有較高的投入比例，皆超過產業總能源投入的50%以上；以投入係數來看，使用煤、電力與燃料油的投入係數最高者爲水電燃氣業，天然氣的投入係數最高者爲礦業，車用汽油與柴油的投入係數最高者爲運輸倉儲業。在污染排放方面，以比例值來看，四種污染排放主要集中在製造業和水電燃氣業；以排放係數來看，四種污染排放集中在水電燃氣業與運輸倉儲業。因此，各產業是否佔較高的能源投入和污染排放比例，並不完全決定於其直接能源投入係數和污染排放係數，尙應視各產業能源投入使用效率與產業規模而定。

表七 能源投入係數 (單位:油當量/百萬元)

	煤	天然氣	電力	車用汽油	柴油	燃料油
農業	-	-	0.004306	0.000003	0.002018	0.000846
礦業	0.000876	0.000447	0.006656	0.000006	0.000783	0.000648
製造業	0.001654	0.000052	0.008245	0.000050	0.000049	0.001402
水電燃氣	0.041252	-	0.020591	0.000042	0.000274	0.009985
營造業	-	-	0.000152	0.000009	0.000199	0.000134
商品買賣	0.000000	0.000166	0.006223	0.000011	0.000020	0.000095
運輸倉儲	0.000002	-	0.002639	0.009342	0.006783	0.000566
服務業	0.000069	0.000012	0.003890	0.000144	0.000243	0.000232

資料：見表三。

表八 能源投入比例 (單位:100%)

	煤	天然氣	電力	車用汽油	柴油	燃料油
農業	-	-	0.029317	0.000324	0.190723	0.032560
礦業	0.002493	0.056137	0.005799	0.000083	0.009479	0.003192
製造業	0.463913	0.645365	0.708022	0.062329	0.059069	0.680354
水電燃氣	0.528215	-	0.080738	0.002393	0.014920	0.221163
營造業	-	-	0.000995	0.000889	0.018150	0.004953
商品買賣	0.000015	0.256879	0.066510	0.001787	0.002979	0.005783
運輸倉儲	0.000052	-	0.017538	0.883915	0.625603	0.021255
服務業	0.005309	0.041617	0.091078	0.048276	0.079072	0.030736
合計	1	1	1	1	1	1

資料：見表三。

表九 污染排放係數 (單位:噸/百萬元)

	懸浮微粒	硫氧化物	氮氧化物	一氧化碳
農業	0.002913	0.041531	0.010428	0.001718
礦業	0.003924	0.035210	0.010824	0.001058
製造業	0.006783	0.054400	0.018887	0.001305
水電燃氣	0.134144	0.859450	0.305591	0.016398
營造業	0.000360	0.005066	0.001363	0.000200
商品買賣	0.000154	0.002130	0.000685	0.000071
運輸倉儲	0.006511	0.096207	0.020011	0.004407
服務業	0.000739	0.008608	0.002519	0.000302

資料：見表三。

表十 污染排放比例 (單位:100%)

	懸浮微粒	硫氧化物	氮氧化物	一氧化碳
農業	0.016576	0.030560	0.022835	0.051423
礦業	0.002858	0.003316	0.003034	0.004056
製造業	0.486896	0.504919	0.521703	0.492817
水電燃氣	0.439669	0.364273	0.385454	0.282682
營造業	0.001972	0.003583	0.002869	0.005759
商品買賣	0.001383	0.002461	0.002356	0.003363
運輸倉儲	0.036166	0.069102	0.042775	0.128753
服務業	0.014475	0.021783	0.018970	0.031143
合計	1	1	1	1

資料：見表三。

由上述的分析結果來看，納入環境和能源因素，將導致生產部門之間相對生產優勢的變動，並產生選擇性成長(selective growth)的產業策略問題。在此，所謂的選擇性成長策略，是指由降低高污染產業的成長，提高低污染產業的成長，並進一步導致能源需求減少的策略(Hafkamp, 1984)。而本文的研究方法則有助於對低污染、高耗能源、及高附加價值產業的認定。

最後，由就業部門來看，在6種職業別的勞動需求中，專門技術、買賣工作、服務工作的需求量較實際值高，而行政主管、監督行政、農林與生產人員則需求量下降。此一結果可由勞動投入係數(表十一)和比例(表十二)來分析。專門技術與服務工作的投入係數和投入比例主要集中在服務業，買賣工作則集中在商品買賣業，因此受到前述產業產值變動導致職業別需求變動的影響較小。

表十一 勞動投入係數

(單位:人/百萬元)

	專門技術	行政主管	監督行政	買賣工作	服務工作	農林與生產
農業	0.005414	0	0.019811	0	0.003472	4.115340
礦業	0.025364	0.014920	0.063561	0	0.005072	0.680078
製造業	0.016454	0.011561	0.098107	0.020956	0.009646	0.544557
水電燃氣	0.043805	0	0.067866	0.002862	0.014273	0.119275
營造業	0.037558	0.009547	0.137943	0.018039	0.015018	1.626733
商品買賣	0.015064	0	0.244572	1.916980	0.016209	0.116940
運輸倉儲	0.050638	0.019229	0.412357	0.015182	0.049605	0.805110
服務業	0.362899	0.017476	0.385519	0.037962	0.566050	0.255479

資料：見表三。

表十二 勞動投入比例

(單位:100%)

	專門技術	行政主管	監督行政	買賣工作	服務工作	農林與生產
農業	0.003387	-	0.005581	-	0.001601	0.282809
礦業	0.002031	0.008099	0.002292	-	0.000299	0.005982
製造業	0.129834	0.618491	0.348655	0.076879	0.056102	0.472038
水電燃氣	0.015784	-	0.011013	0.000479	0.003790	0.004721
營造業	0.022582	0.038918	0.037354	0.005042	0.006655	0.107448
商品買賣	0.014794	-	0.108181	0.875319	0.011733	0.012616
運輸倉儲	0.030921	0.079606	0.113405	0.004310	0.022325	0.054007
服務業	0.780664	0.254883	0.373514	0.037967	0.897490	0.060375
合計	1	1	1	1	1	1

資料：見表三。

2. 模擬狀況

本小節分析四種目標優先改善對部門間的影響情況，主要依4.3節的四種狀況進行分析。在進行模擬分析之前，首先必須設定 λ_y 、 λ_e 、 λ_l 、 λ_p 的調整值。由於 λ 是介於0和1之間，故本文分別設定 $\lambda = 0.25$ 、 0.5 、 0.75 三種狀況進行模擬。另外， $\lambda = 0$ ，表示限制集合沒有調整，新的下限(或上限)值為原先下限(或上限)值，所以解值和基本解相同；而 $\lambda = 1$ ，表示限制集合完全調整，新的下限(或上限)值為原先妥協解。

根據前述的調整方式，總共可得12種狀況，分別表示不同目標變化的影響。各種狀況調整下的償付矩陣列於表四。該表顯示：在極大化所得的目標下，所有模擬情況中，能源消費量都低於實際值，表示國內產業之能源使用

並非達最有效率的境界；同時，污染排放量也都低於實際值，表示國內環境污染極為嚴重，亟待改善。

不同目標變化對部門結構的影響效果，列於表五和表六。從這 12 種狀況來分析，在生產部門中，除商品買賣部門的產值在狀況 C 和狀況 D 有減少的情況外，農業、營造業、服務業的產值皆比實際值大；另一方面，礦業、製造業、水電燃氣業、運輸倉儲業則受到不同目標的變化而有不同的減量影響，此一結果與前述的發現一致。⁵

而在就業部門，除了買賣工作有減少情況外，專門技術、服務工作皆比實際值大且不受不同狀況的影響，而其它職業則受到不同目標的變化而有不同的影響。此一結果顯示：在多目標發展的策略下，不同職業別的勞動力需求，將受到不同目標的變化而有不同影響。

六、結論與研究限制

1. 結論

本文的重點在分析能源消費和污染對產業部門的影響效果。由於探討產業部門的結構效果，因此採用傳統投入產出架構進行分析。另外，因模型本身包括了經濟(生產)、社會(就業)和環境(能源與污染)三個互相關聯的系統，而在此關聯系統下，任何一因素之變動都可能產生整體效果，同時對各系統目標也有不同程度的影響，故納入多目標規劃方法來處理。透過傳統投入產出架構和多目標規劃的整合，可分析不同目標之變化對部門結構的影響。據此，本文得到下列幾點初步結論。

(1) 在極大化所得的目標下，能源消費量與污染排放量都低於實際值，表示國內產業之能源使用未達最有效率的境界，而且國內環境污染極為嚴重，亟待改善。

(2) 在多目標的發展策略下，就目標值而言，犧牲小幅度的所得和就業量，可使能源使用和污染排放有較大幅度的改善。在此發展策略下，就生產部門而言，製造業的產值應減少的程度最大(其中尤以紡織業、金屬製品業與

塑膠業為甚)。其次是水電燃氣業、礦業和運輸倉儲業，而農業、營造業、商品買賣業與服務業的產值則應提高。此一結果主要受產業別能源消費和污染排放的差異及產業關聯程度的影響所致。不過，在此必須指出，倘若產業的生產技術改變，導致能源使用效率提高與空氣污染排放係數降低，則各產業產值應調整的幅度與順序將可能有所不同。

(3) 各產業是否佔較高的能源投入和污染排放比例，並不完全決定於其直接能源投入係數和污染排放係數，尚應視各產業能源投入使用效率與產業規模而定。

(4) 納入環境和能源因素，將導致生產部門內產業之間相對生產優勢的變動，並產生選擇性成長(selective growth)的產業策略問題。在此，所謂的選擇性成長策略，是指由降低高污染產業的成長，提高低污染產業的成長，並進一步導致能源需求減少的策略(Hafkamp, 1984)。而本文的研究方法則有助於對低污染、高耗能源及高附加價值產業的認定。

(5) 由就業部門來看，在六種職業別的勞動需求中，專門技術、買賣工作、服務工作的需求量較不受影響，而行政主管、監督行政、農林與生產人員則需求量下降。另外，在多目標的發展策略下，不同職業別的勞動力需求，將受到不同目標的變化而有不同的影響。

2. 研究限制

本文的限制可以分為兩方面來說明：資料處理和模型本身。就前者而言，本文大量引用的次級資料(譬如污染排放係數、勞動投入係數)，仍待進一步建立資料庫以增進可信度。就後者而言，模型設定(如產能限制、最終需求、距離函數等)仍待進一步調整以強化實證結果。因此，未來的研究，除了應掌握更精確的資料處理外，有必要對模型設定的限制因素進行敏感性分析。

最後，本文的重點在處理能源需求和污染排放的影響效果，而此影響則包括中間需求和最終需求兩部份。在中間需求的部份，本文是採用固定係數的假設(如技術係數、能源投入係數、污染排放係數等)；而在最終需求部

份，則是採外生處理。未來如何將模型擴大到最終需求的決定，則有賴於對消費函數、投資函數等最終需求方程式進一步建立和估計。同時模型的延伸也可考慮納入量值混合單位(hybrid-units)的投入產出模型，並放寬固定係數(如技術係數、能源投入係數、污染排放係數等)的假設。這些都是我們將繼續努力的方向。

(收稿日期：1994年3月15日；接受刊登日期：1994年9月30日)

註釋

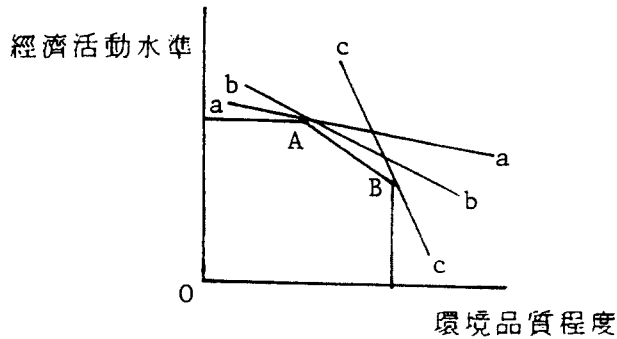
- 1 有些多目標方法並不能嚴格區分，同一方法可能因假設條件和互相整合而具備多重特性(Zeleny, 1982)。
- 2 由參考點可對應出妥協解，因此透過參考點的移動可對應出各個妥協解，即可反映出各種偏好特性(Hafkamp, 1984)。
- 3 比較一般化的距離函數，可以表示為：

$$\left\{ \sum_k (W_k^i)^q \right\}^{\frac{1}{q}}, \quad i \in \{max, min\}$$

式中 q 為任意正整數，介於1到 ∞ 。當 $q = 1$ 時，兩點距離為最大；當 $q = 2$ 時，為兩點之間直線距離最短；當 $q > 2$ 時，距離比直線來得短；當 $q \rightarrow \infty$ 時，表示兩點距離完全反應在較大屬性值。本文採用 $q = 2$ ，又稱為歐几里德距離函數(Euclidean distance function)。先驗上並沒有對 q 有特殊給定，一般可對 q 值的給定進行敏感性分析(Zeleny, 1982)。

- 4 由於資料的限制，本文選取的污染物質僅包括能源燃燒的空氣污染物，其他污染則未予以考慮，故本文對污染排放量的估計可能會產生低估的現象。
- 5 表五與表六中，基本解($\lambda=0$)和狀況A($\lambda=0.25$)及狀況B($\lambda=0.25$)完全

相同，發生此種現象的原因主要係因為當限制集合的調整不夠大，會使非劣解仍停留在原先的非劣解。表示原先的非劣解，不會因限制集合的調整，移動到新的非劣解。以下圖說明。



若 A, B 兩點為待解的非劣解，而 $\bar{a}\bar{a}, \bar{b}\bar{b}, \bar{c}\bar{c}$ 為相對權重（即不同的限制集合）。假設一開始的權重為 $\bar{a}\bar{a}$ ，則在目標空間得到的非劣解為 A 點。當相對權重改變（即限制集合改變），成為 $\bar{b}\bar{b}$ ，非劣解仍停留在原先的 A 點。若相對權重改變較大，成為 $\bar{c}\bar{c}$ ，非劣解改變至 B 點。因此，除非我們先驗上知道限制集合的調整幅度，否則極易得到相同的非劣解。由於目標空間的非劣解可能很多，如何在有效性與效率性求得一平衡點，即是多目標規劃的一大課題。本文因採用 Hafkamp(1984) 的處理方式，僅選取幾個代表性的非劣解（即 $\lambda=0.25, 0.5, 0.75$ ）進行分析，故產生此種 Zeleny(1982) 所稱的極點跳躍現象。

參考資料

行政院主計處

- 1986 臺灣地區產業關聯表（九十九部門及四十九部門）。
- 1986 臺灣地區產業關聯表（一二三部門）。
- 1986 臺灣地區職業別薪資調查報告。
- 1986 勞工統計月報。

行政院經濟建設委員會

- 1986 中華民國臺灣地區經濟建設人力發展部門中長期計劃(民國75年至89年)。

陳家榮

- 1989 臺灣地區就業結構變動因素分析，國科會專題研究計劃成果報告(NSC 79-0301-H006-03)。
- 1990 臺灣地區能源投入產出表之編製和應用研究，能源研究發展基金研究計劃報告(NO.791F1)，經濟部能源委員會。

張四立

- 1992 我國石油工業整體供需規劃模型之建立和應用，國立中興大學公共政策研究所。

張鴻章、李高朝、許嘉棟、李繼祥

- 1981 能源供給和價格變動對臺灣經濟的影響，研究計劃報告(EC-010)，經濟部能源委員會。

經濟部

- 1989 中日韓能源政策及措施之比較研究，研究發展專題(78017)。

經濟部能源委員會

- 1991 能源平衡表。
- 1992 中華民國臺灣地區能源指標季報。

環境保護署

- 1986 中華民國臺灣地區環境保護統計年報。
- 1987 中華民國臺灣地區環境資訊。

Bannink, R., C. Broekhof and P. Nijkamp

- 1983 "A Programming Approach as a Design for Economic Development Policy," in Lakshmanan, T. R. and P. Nijkamp(eds.), *Systems and Models for Energy and Environmental Analysis*. London: Gower.

Cohon, J. L.

1978 *Multiobjective Programming and Planning*. London: Academic Press.

Chenery, H. and P. G. Clark

1959 *Interindustry Economics*. New York: John Wiley & Sons.

Despontin, M., P. Nijkamp and J. Spronk

1984 "Conflict Analysis in Macroeconomic Planning Models," in Despontin, M., P. Nijkamp and J. Spronk (eds.), *Macro-Economic Planning with Conflicting Goals*. Berlin: Springer.

Dietz, F. T., F. van der Ploeg, and J. van der Straaten (eds.)

1991 *Environmental Policy and the Economy*. Amsterdam: North-Holland.

Hafkamp, W. A.

1984 *Economic-Environmental Modelling in A National-Regional System*. Amsterdam: North-Holland.

1991 "Three Decades of Environmental-Economic Modelling: Economic Models of Pollutant Emissions," in Dietz, F. T., F. van der Ploeg and J. van der Straaten (eds.), *Environmental Policy and the Economy*. Amsterdam: North-Holland.

Hafkamp, W. A. and P. Nijkamp

1982 "An integrated International Model for Pollution Control," in Lakshmanan, T. R., and P. Nijkamp (eds.), *Economic Environmental Interactions Modelling and Policy Analysis*. Boston: Martinus Nijhoff.

Hsu, G. J. Y.

1985 *An Integrated Energy Planning Model for Taiwan: Multiobjective Programming and Input-output Approaches*. Taipei: Chung-

Hua Institution for Economic Research.

Hsu, G. J. Y., P. Leung and C. T. K. Ching

1987 "A Multiobjective Programming and Interindustry Model for Energy-Economic Planning in Taiwan," *Energy System and Policy* 11: 185-204.

Loucks, D. P.

1975 "Planning for Multiple Goals," in Blitzer, C. R., P. Clark, and L. Taylor (eds.), *Economy-Wide Models and Development Planning*. London: Oxford University Press.

Nijkamp, P.

1986 "Equity and efficiency in environmental policy analysis: Separability versus inseparability," in Schnaiberg, A., N. Watts and K. Zimmermann (eds.), *Distributional Conflicts in Environmental Resource Policy*. London: Gower.

Nijkamp, P., P. Rietveld and H. Voogd

1990 *Multicriteria Evaluation in Physical Planning*. Amsterdam: North-Holland.

O'Connor, R. and E. W. Henry

1975 *Input-Output Analysis and Its Application*. London: Charles Griffin.

Rediclift, M.

1987 *Sustainable Development*. London: Methuen.

Schachter, G., A. La Bella, M. Gastaldi, R. Danielis and D. Campisi

1989 "Conflicting Goals in the Italian Multiregional Economy: A Multiobjective Compromise Analysis," Paper presented at Ninth International Conference on Input-Output Techniques, Keszthely.

Spronk, J., and F. Veeneklaas

- 1984 "Objectives and Potential of the Dutch Economy in the Eighties," in Despontin, M., P. Nijkamp, and J. Spronk (eds.), *Macro-Economic Planning with Conflicting Goals*. Berlin: Springer.

Tzeng, Gwo-hshiung and Sheng-hshiung Tsaur

- 1992 "Application of Multiple Criteria Decision Making to Old Vehicle Elimination," *Proceeding of the Tenth International Conference of Multiple Criteria Decision Making IV*: 373-382.

Tzeng, Gwo-hshiung, Chien-yuan Lin, Junn-yuan Teng and Sheng-hshiung Tsaur

- 1989 "Multiobjective Optimal Strategies for Energy System and Ecological Environment in Taiwan," *Energy Quarterly* XIX: 106-124.

World Commission of Environment and Development (WCED)

- 1987 *Our Common Future (The 'Brundtland Report')*. New York: Oxford University Press.

Yu, P. L.

- 1973 "A Class of Solution of Group Decision Problems," *Management Science* 14: 319-376.

Zeleny, M.

- 1974 *Linear Multi-Objective Programming*. Berlin: Springer.
1982 *Multiple Criteria Decision Making*. Amsterdam: North-Holland.

An Integrated Environmental-Economic Multi-Objective Programming Model for Taiwan

Hao-yen Yang To-far Wang

Abstract

This paper attempts to construct a planning model which combines environment and economic sub-systems as an integrated programming model. The multi-objective programming approach and simulation technique are applied to investigate the integrated planning effect on industrial production, employment and resource allocation. Empirical results based on Taiwan's data in 1986 indicate that in a multi-objective programming framework, energy consumption and pollution generation can be reduced to a great extent such that the environmental quality is greatly improved at the expense of only a small reduction in income and employment. Meanwhile, changes in various objectives will generate different impacts on labor demand for different occupations.